



PSTL - Liguria

Progetto

Studio di fattibilità

“REFMAG Liguria – Studio di un prototipo dimostrativo di refrigerazione magnetica ”

POS N.2 – Avviso 2/2006

DOCUP Obiettivo 2 (2000-2006)
(Misura 3.7 – Sottomisura D)

“Diffusione e trasferimento dell’innovazione”

EXECUTIVE SUMMARY

Soggetti realizzatori del progetto



Università degli Studi di Genova



**DCCI – DIPARTIMENTO DI CHIMICA E
CHIMICA INDUSTRIALE**



**DIPTER – DIPARTIMENTO DI TERMOENERGETICA E
CONDIZIONAMENTO AMBIENTALE**

	<p>Studio di fattibilità: “REFMAG Liguria – Studio di un prototipo dimostrativo di refrigerazione magnetica” POS N°2 Avviso 2/2006 EXECUTIVE SUMMARY</p>	<p>REV 01 20/03/2009 Pag. 1 di 3</p>
--	---	---

Lo Studio di fattibilità “REFMAG Liguria – Studio di un prototipo dimostrativo di refrigerazione magnetica” ha avuto lo scopo di costruire il primo prototipo dimostrativo italiano di sistema di produzione del freddo basato sulla refrigerazione magnetica, operante nell’intorno della temperatura ambiente.

Il punto di partenza teorico è la possibilità di variare lo stato termodinamico di un materiale magnetico quando sottoposto alla variazione di un campo magnetico applicato: il materiale magnetico si riscalda quando sottoposto al campo magnetico e viceversa si raffredda quando estratto dal campo magnetico. L’effetto correlato prodotto sul materiale (Effetto Magnetocalorico, cioè innalzamento della temperatura all’applicazione di un campo magnetico) è legato al comportamento magnetotermico del materiale, alla sua capacità termica ed all’entità della variazione di campo magnetico applicato. Alternando opportunamente cicli di variazioni di campo magnetico abbinati a scambi termici (attraverso un fluido termovettore) che cedano od assorbano calore al e dal materiale rispettivamente, è possibile trasferire calore da una sorgente termica a bassa temperatura (serbatoio freddo) ad una sorgente termica a temperatura più elevata (serbatoio caldo). Tale effetto è ben noto nel campo della criogenia e delle bassissime temperature (fino a 0.1K!), ma solo in tempi recenti sono state evidenziate possibilità di sviluppo anche a temperatura ambiente, con risvolti applicativi potenziali di enorme interesse.


Il progetto ha avuto un’estensione temporale di 12 mesi (1/07/2007 – 30/06/2008) e, per un corretto ed organico sviluppo dello stesso, è stato sviluppato in diverse fasi.

La **Fase 1** ha riguardato l’acquisizione di tutto il *know-how* necessario (partecipazione a congressi internazionali, ottenimento di informazioni bibliografiche, etc.) per i diversi aspetti che interessano la costruzione di un refrigeratore magnetico: cicli di refrigerazione magnetica e rigenerazione magnetica (AMR), magneti, materiali e fluidi refrigeranti, sistemi di monitoraggio e controllo.

La **Fase 2**, partendo dalle conoscenze acquisite con la Fase 1, è stata focalizzata sulle scelte operative delle diverse componenti del sistema, sulla base di criteri incentrati sull’efficienza, sulla capacità costruttiva, sull’economicità e sulla tempistica in fase di realizzazione. Al termine della fase 2 sono state compiutamente definite le caratteristiche fondamentali del prototipo (moto alternato lineare, magnete fisso e navicella AMR mobile, campi magnetici generati da magneti permanenti, etc.)

La **Fase 3** ha riguardato la modellizzazione del sistema: il punto di partenza è stato un modello matematico stazionario che presenta notevoli vantaggi dal punto di vista risolutivo e permette di definire i principali parametri che influenzano l’efficienza del sistema. Refrigeratori magnetici operanti in condizioni stazionarie sono purtroppo irrealizzabili, al momento, dal punto di vista applicativo. Il passo successivo è stata la modellizzazione, molto più complessa dal punto di vista degli algoritmi risolutivi, di un sistema in transitorio operante secondo cicli alternati stabilizzati, nel quale sono stati definiti gli elementi da modellizzare: il sistema rigeneratore, gli scambiatori di calore, i condotti, le valvole e le pompe di circolazione. Per ognuno di questi sistemi sono state formulate le equazioni termodinamiche temporali in termini di scambi termici, termini di conduzione assiale e flussi entalpici. E’ stata infine fatta una simulazione imponendo alcuni valori plausibili dei principali parametri indipendenti (frazione di vuoto, campo magnetico applicato, materiale gadolinio e relativo effetto magnetocalorico, etc.) e valutando le prestazioni in termini di COP ed efficienza di secondo principio. Le conclusioni della fase 3 hanno portato ad individuare le condizioni di lavoro teoricamente ottimali della macchina, in termini di frequenze di ciclo, rapporti tra le masse di gadolinio e delle portate del fluido refrigerante, e così via.

La **Fase 4** è stata dedicata alla progettazione del prototipo. Tale progettazione è stata suddivisa nei diversi argomenti che sono stati affrontati singolarmente: 1) definizione del processo e stesura dello schema operativo (process and instrumentation); 2) progettazione del rigeneratore minimizzando le dissipazioni termiche e massimizzando lo scambio termico tra materiale refrigerante e fluido vettore; 3) progettazione della navetta porta rigeneratore: sono stati utilizzati due letti a matrice porosa per

	<p style="text-align: center;">Studio di fattibilità: “REFMAG Liguria – Studio di un prototipo dimostrativo di refrigerazione magnetica” POS N°2 Avviso 2/2006 EXECUTIVE SUMMARY</p>	<p style="text-align: center;">REV 01 20/03/2009 Pag. 2 di 3</p>
---	--	--

raddoppiare la frequenza di funzionamento rispetto alla frequenza di movimentazione del ciclo ed ottenere un sistema equilibrato delle forze magnetiche in gioco ; 4) progettazione del magnete: i criteri seguiti hanno dovuto soddisfare sia esigenze di elevata induzione magnetica (> 1.8 Tesla nel materiale), sia di peso sufficientemente ridotto (< 30 kg), sia di semplicità costruttiva, basata sull'utilizzo di geometrie semplici per il montaggio, sia di costi ridotti. La soluzione finale ha portato alla progettazione di un sistema costituito da 10 magneti NdFeB N50 disposti attorno a due concentratori in Fe dolce, con una distanza utile pari a 13 mm. ed una larghezza di 100mm. E' stato poi progettato: 5) il sistema degli scambiatori di calore ad elevata superficie di scambio ed elevato coefficiente globale di scambio termico per poter scambiare energia con l'ambiente in condizioni di limitati gradienti di temperatura; 6) il sistema di movimentazione della navetta che deve permettere ai rigeneratori di entrare, sostare, ed uscire dal campo magnetico nei tempi stabiliti. Il sistema di movimentazione deve avere un' elevata velocità di picco e una buona spinta massima per superare gli attriti e i gradienti di forza magnetica tra magneti e materiale magnetico. Ultimo argomento è stato la 7) progettazione dell'elettronica di misura e controllo: la soluzione migliore è parsa l'utilizzo di elettronica National Instruments (rack cDAQ-9172 e moduli di input /output) per l'acquisizione dei segnali di temperatura, pressione e portata del fluido, posizione della navetta e forza agente su di essa, dei segnali di uscita di controllo alle pompe e di comando alla movimentazione.


La **Fase 5** ha riguardato la costruzione dei diversi elementi componenti del prototipo sulla base delle idee progettuali sviluppate durante la Fase 4 e loro assemblaggio finale. La costruzione ha riguardato 1) il banco porta-prototipo compresa le diverse alimentazioni ad alta e bassa tensione, 2) la navetta e i tubi in fibra di carbonio per il rigeneratore AMR, 3) il magnete, 4) il sistema di movimentazione, 5) gli scambiatori di calore, 6) l'impianto idraulico, 7) il sistema elettronico di acquisizione e controllo e relativo software. Alcuni componenti sono stati costruiti nella sede del progetto mentre per gli altri sono state utilizzate ditte esterne. Presso la sede del progetto è stato eseguito infine il controllo di funzionamento e l'assemblaggio dei componenti.

La **Fase 6** infine ha riguardato la verifica di funzionamento del prototipo e le prove sperimentali connesse. Sono stati ottenuti i profili di temperatura delle matrici porose durante il processo di ingresso/uscita del rigeneratore dal magnete; correlati a questi profili è stata definita la movimentazione della navetta – rigeneratore e le portate delle pompe; sono state misurate le evoluzioni della temperatura nei due scambiatori di calore (serbatoio caldo e serbatoio freddo) in condizioni normali, in condizione di ventilazione forzata e in condizioni adiabatiche (senza passaggio negli scambiatori); è stato misurato il lavoro speso nel processo di movimentazione per il funzionamento delle pompe; è stato determinato il calore assorbito dal serbatoio freddo in modo da poter ottenere l'efficienza di secondo principio del prototipo. Questi studi sono stati ripetuti variando la frequenza di movimentazione del rigeneratore (tempo di stazionamento di ogni letto all'interno del magnete) in modo da determinare la dipendenza dalla frequenza di movimentazione dei profili di temperatura, dei calori scambiati ai due scambiatori, del lavoro speso e quindi dell'efficienza di raffreddamento del prototipo.

Genova, 26/06/2008

Il Responsabile Scientifico del Progetto

(Prof. Fabio Canepa)

	<p style="text-align: center;">Studio di fattibilità: "REFMAG Liguria – Studio di un prototipo dimostrativo di refrigerazione magnetica" POS N°2 Avviso 2/2006 EXECUTIVE SUMMARY</p>	<p style="text-align: center;">REV 01 20/03/2009 Pag. 3 di 3</p>
---	---	---